CONAGUA
COMISIÓN NACIONAL DEL AGUA

SUBDIRECCIÓN GENERAL TÉCNICA

GERENCIA DE AGUAS SUBTERRÁNEAS

ACTUALIZACIÓN DE LA DISPONIBILIDAD MEDIA ANUAL DE AGUA EN EL ACUÍFERO LAGUNA DEL REY-SIERRA MOJADA (0520), ESTADO DE COAHUILA

CIUDAD DE MÉXICO, 2024

Contenido

1 GENERALIDADES 2
1.1 Localización 2
1.2 Situación administrativa del acuífero 4
2 FISIOGRAFÍA 5
2.1 Provincia fisiográfica 5
2.2 Clima 6
2.3 Hidrografía 6
2.4 Geomorfología 7
3 GEOLOGÍA 8
3.1 Estratigrafía 8
3.2 Geología estructural 13
3.3 Geología del subsuelo 14
4 HIDROGEOLOGÍA 16
4.1 Tipo de acuífero 16
5 BALANCE DE AGUAS SUBTERRÁNEAS 16
5.1 Entradas 17
5.1.1 Recarga vertical (Rv) 17
5.2 Salidas 23
5.2.1 Bombeo (B) 23
6 DISPONIBILIDAD 23
6.1 Recarga total media anual (R) 24
6.2 Descarga natural comprometida (DNC) 24
6.3 Volumen de extracción de aguas subterráneas (VEAS) 24
6.4 Disponibilidad media anual de agua subterránea (DMA) 25
7 BIBLIOGRAFÍA 26

1 GENERALIDADES

Antecedentes

La Ley de Aguas Nacionales (LAN) y su Reglamento contemplan que la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) debe publicar en el Diario Oficial de la Federación (DOF), la disponibilidad de las aguas nacionales, en el caso de las aguas subterráneas esto debe ser por acuífero, de acuerdo con los estudios técnicos correspondientes y conforme a los lineamientos que considera la "NORMA Oficial Mexicana NOM-011-CONAGUA-2015, Conservación del recurso agua- Que establece las especificaciones y el método para determinar la disponibilidad media anual de las aguas nacionales". Esta norma ha sido preparada por un grupo de especialistas de la iniciativa privada, instituciones académicas, asociaciones de profesionales, gobiernos estatales y municipales y de la CONAGUA.

La NOM establece para el cálculo de la disponibilidad de aguas subterráneas la realización de un balance de las mismas donde se defina de manera precisa la recarga, de ésta deducir los volúmenes comprometidos con otros acuíferos, la demanda de los ecosistemas y el volumen de extracción de aguas subterráneas.

Los resultados técnicos que se publiquen deberán estar respaldados por un documento en el que se sintetice la información, se especifique claramente el balance de aguas subterráneas y la disponibilidad de agua subterránea susceptible de concesionar.

La publicación de la disponibilidad servirá de sustento legal para la autorización de nuevos aprovechamientos de agua subterránea, transparentar la administración del recurso, planes de desarrollo de nuevas fuentes de abastecimiento, resolver los casos de sobreexplotación de acuíferos y la resolución de conflictos entre usuarios.

1.1 Localización

El acuífero Laguna del Rey-Sierra Mojada, definido con la clave 0520 en la Comisión Nacional del Agua, se localiza en la porción oeste del Estado de Coahuila, entre las coordenadas geográficas 26° 39' y 27° 21' de latitud norte, y 103° 11' y 103° 47' de longitud oeste, cubriendo una superficie de 3101.7 km^2.

Limita al noroeste con el acuífero Rancho Denton, al suroeste con el acuífero Laguna el Rey y Ceballos y al oeste con Laguna de Palomas pertenecientes al estado de

Chihuahua; al norte con Hércules, al noreste con el acuífero Laguna El Guaje y Laguna El Coyote y al sur con los acuíferos Principal Región Lagunera y Acatita, todos ellos pertenecientes al estado de Coahuila (figura 1).

Geopolíticamente se localiza parcialmente en los municipios Sierra Mojada y en menor proporción Ocampo, ambos pertenecientes al estado de Coahuila.

Figura 1. Localización del acuífero

La poligonal simplificada que delimita el acuífero se encuentra definida por los vértices cuyas coordenadas se muestran en la tabla 1.

Tabla 1. Coordenadas geográficas de la poligonal simplificada del acuífero

ACUIFERO 0520 LAGUNA DEL REY-SIERRA MOJADA							
VERTICE	**LONGITUD OESTE**			**LATITUD NORTE**			**OBSERVACIONES**
	GRADOS	**MINUTOS**	**SEGUNDOS**	**GRADOS**	**MINUTOS**	**SEGUNDOS**	
1	103	41	55.6	26	43	30.7	DEL 1 AL 2 POR EL LIMITE ESTATAL
2	103	46	39.8	27	5	24.5	DEL 2 AL 3 POR EL LIMITE ESTATAL
3	103	47	57.3	27	7	26.6	
4	103	46	43.5	27	11	44.1	
5	103	44	47.5	27	14	12.4	
6	103	46	11.4	27	16	24.0	
7	103	46	31.4	27	19	3.8	
8	103	44	32.7	27	21	26.3	
9	103	41	14.8	27	19	21.7	
10	103	36	39.0	27	20	8.5	
11	103	35	34.6	27	17	30.1	
12	103	32	22.4	27	17	18.4	
13	103	30	28.9	27	17	36.1	
14	103	28	47.9	27	16	17.0	
15	103	21	39.3	27	14	58.2	
16	103	16	30.2	27	0	12.9	
17	103	11	57.8	26	51	26.1	
18	103	16	4.6	26	48	17.1	
19	103	19	55.2	26	47	39.4	
20	103	22	33.2	26	40	40.2	
21	103	27	7.3	26	44	40.8	
22	103	29	4.4	26	44	12.5	
23	103	29	9.8	26	42	22.7	
24	103	32	32.0	26	42	54.4	
25	103	32	31.0	26	39	0.0	DEL 25 AL 1 POR EL LIMITE ESTATAL
1	103	41	55.6	26	43	30.7	

1.2 Situación administrativa del acuífero

El acuífero Laguna del Rey-Sierra Mojada pertenece al Organismo de Cuenca VII "Cuencas Centrales Del Norte", al Consejo de Cuenca "Nazas Aguanaval", instalado el 01 de diciembre del 1998.

El acuífero se encuentra sujeto a las disposiciones del "ACUERDO General por el que se suspende provisionalmente el libre alumbramiento en las porciones no vedadas, no reglamentadas o no sujetas a reserva de los 175 acuíferos que se indican", publicado en el DOF el 5 de abril de 2013, a través del cual en dicha porción del acuífero, no se permite la perforación de pozos, la construcción de obras de infraestructura o la instalación de cualquier otro mecanismo que tenga por objeto el alumbramiento o extracción de las aguas nacionales del subsuelo, sin contar con concesión o asignación otorgada por la Comisión Nacional del Agua, quien la otorgará conforme a lo establecido por la Ley de Aguas Nacionales, ni se permite el incremento de volúmenes autorizados o registrados previamente por la autoridad, sin la autorización previa de la Comisión Nacional del Agua, hasta en tanto se emita el instrumento jurídico que

permita realizar la administración y uso sustentable de las aguas nacionales del subsuelo.

De acuerdo con la Ley Federal de Derechos en Materia de Agua 2024, el acuífero se clasifica como zona de disponibilidad 3.

2 FISIOGRAFÍA

2.1 Provincia fisiográfica

De acuerdo con la clasificación fisiográfica de Erwin Raisz (1964), el área que cubre el acuífero se ubica en la confluencia de dos provincias fisiográficas: la mayor parte se localiza en la provincia fisiográfica Sierras y Llanuras del Norte y en menor proporción en la provincia fisiográfica Sierra Madre Oriental. Por otra parte, según la regionalización fisiográfica del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI, 1989), el acuífero se localiza en las subprovincias: Bolsón de Mapimí en mayor proporción, en la subprovincia Llanuras y Sierras Volcánicas al norte y en la subprovincia Sierra de La Paila al sur.

La provincia de Sierras y Llanuras del Norte es una provincia árida y semiárida se extiende desde el suroeste de los Estados Unidos de América hasta cerca de Nazas de Durango y la Laguna de Mayrán en Coahuila, se orienta más o menos noroeste-sursureste y abarca parte de los estados de Durango, Sonora, Chihuahua y Coahuila.

La provincia Sierra Madre Oriental corre en sentido paralelo a la Costa del Golfo de México desde la frontera norte del país hasta sus límites con el Eje Neovolcánico. A la altura de Monterrey, N.L una de sus ramas tuerce abruptamente al oeste para extenderse hasta la Sierra Madre Occidental; la otra continúa hacia el norte para terminar en la región de Big Bend, Texas. Está integrada principalmente por sedimentos calcáreos del Cretácico y Jurásico que se encuentran plegados, formando valles estructurales (Manuel Álvarez Jr.) en los sinclinales y serranías en los anticlinales cuando las formaciones son resistentes a la erosión, pero cuando estos últimos dejan al descubierto un núcleo constituido por rocas menos resistentes, entonces se forman valles en su centro.

La subprovincia Bolsón de Mapimí está constituida por extensas llanuras aluviales o salinas, con lomeríos ramificados, sierras plegadas y campos de dunas. En las llanuras dominan suelos profundos de origen aluvial o lacustre, de textura media o fina.

La subprovincia Llanuras y Sierras Volcánicas en territorio mexicano comprende parte de los estados de Chihuahua y Coahuila; al norte se extiende hacia los Estados Unidos de América. Se localiza en el costado oriente de la entidad, a manera de una franja orientada norte sur que va del noroeste de la población de Ojinaga y el límite boreal, al sur de la sierra Las Pampas y el oriente de la sierra El Diablo.

La subprovincia Sierra La Paila está constituida por un conjunto de sierras y bolsones amplios, que presentan de drenaje interno, en la que las calizas dominan en las sierras y en menor medida rocas volcánicas. En sus partes bajas, conforma llanuras y pequeños lomeríos.

2.2 Clima

De acuerdo con la clasificación de Köppen modificada por Enriqueta García en 1964, para las condiciones de la República Mexicana, en la mayor superficie del acuífero prevalece el clima muy árido, semicálido (BWhw), con temperatura media anual entre 18°C y 22°C, temperatura del mes más frio menor de 18° C, temperatura del mes más caliente mayor de 22°C y con lluvias de verano y porcentaje de lluvia invernal del 5% al 10.2% del total anual. En menor proporción al norte del acuífero se clasifica como clima semiárido, templado (BS1kw), con temperatura media anual entre 12°C y 18°C, temperatura del mes más frio entre -3°C y 18°C, temperatura del mes más caliente menor de 22°C y con lluvias de verano y porcentaje de lluvia invernal del 5% al 10.2% del total anual.

Para la determinación de las variables climatológicas se cuenta con información de 4 estaciones climatológicas con influencia en el área del acuífero y con datos utilizables: Sierra Mojada, La Soledad, Laboratorio del Desierto y San Francisco del Valle, cuyo registro comprende el periodo 1988-2008. Con estos datos y utilizando el método de Polígonos de Thiessen, se determinaron valores de precipitación y temperatura media anual de **312.0 mm y 19.6 °C**, respectivamente.

2.3 Hidrografía

El acuífero pertenece a la Región Hidrológica No. 35 “Mapimí”. La región del Bolsón de Mapimí no presenta corrientes o almacenamientos perennes, se caracteriza por su aridez y la ausencia casi total de elevaciones importantes. Todas las cuencas que la conforman son endorreicas, sus cauces son temporales que sólo conducen agua cuando se presentan lluvias extraordinarias, para después. En toda la región los índices

de escurrimiento superficial son muy bajos, menores a los 10 mm anuales que, por supuesto, van a dar al fondo de los bolsones, en donde se llegan a formar lagunas intermitentes.

En la Cuenca de la Laguna del Rey, se ubican lagunas poco profundas e intermitentes que sólo son aprovechadas en la explotación de sales cristalizadas por la evaporación en sus fondos secos.

2.4 Geomorfología

En general, la mayor parte del territorio conforma bajadas o extensas llanuras aluviales (cuencas endorréicas), conocidas en el norte de país como bolsones, que en ocasiones constituyen lagunas, delimitadas por sierras orientadas en sentido norte-sur, entre las que destacan las denominadas con los nombres de El Diablo y La Mezcalera. Fuerzas distensivas originaron cuencas tectónicas que posteriormente fueron rellenadas, creando los bolsones que caracterizan a toda esta porción del norte del país, en uno de los cuales está alojado el acuífero Laguna El Rey. El proceso de disección causado por las corrientes fluviales originó la conformación de llanuras y valles aluviales. En general y de acuerdo con su génesis, las corrientes del área son consecuentes radiales centrífugas, como las desarrolladas en las unidades volcánicas; consecuentes deformativas las que drenan hacia los bordes de las sierras plegadas; aquellas que drenan en las estructuras sinclinales son las consecuentes longitudinales; por último, las corrientes resecuentes son las que fluyen en la porción oriental de la Sierra El Diablo. Corrientes subsecuentes se han formado a causa del fracturamiento presente en la Sierra La Mezcalera.

La mayor parte del área comprendida por el acuífero corresponde a una serie de sierras anticlinales formadas por rocas calcáreas del Cretácico y Jurásico que forman parte de la Sierra Madre Oriental. Las sierras se elevan de 2300 msnm, hasta 900 msnm; entre ellas destacan la Sierra Mojada (2300 msnm), ubicada en la porción noroeste del acuífero con una longitud aproximada de 20 km y anchura de 5 km; Sierra Santa Eulalia y la Chorrera al oeste, Sierra Esmeralda al norte, Sierra La Planchada al noreste, entre otras.

Se presentan valles estructurales (Manuel Álvarez Jr.), que se presentan entre los plegamientos de la Sierra Madre Oriental con una orientación este-noreste. En ellos circulan algunos arroyos que descienden de las sierras y se pierden por infiltración al

subsuelo.

Así mismo, destaca una planicie ubicada en la porción central del área, limitadas al oriente y norte por sierras. La laguna del Rey es una unidad geomorfológica, debido a que corresponde a planicies horizontales donde ocasionalmente se acumula agua de lluvia que posteriormente se pierde por evaporación.

3 GEOLOGÍA

El acuífero está constituido en su mayoría por material de tipo aluvial y eólico, distribuido del suroeste al noreste del acuífero; se identifican rocas sedimentarias de tipo caliza al norte y en la parte este y sureste; además de afloramientos de conglomerados principalmente hacia el norte (figura 2).

3.1 Estratigrafía

CRETÁCICO INFERIOR

Formación La Virgen

El nombre Yesos La Virgen fue dado por Humphrey y Díaz en 1956 para designar afloramientos de evaporitas en el lado poniente del potrero de La Virgen, localizado a 10 km al noreste de Cuatrociénegas, Coahuila. Litológicamente está constituida por una secuencia rítmica de tres unidades, para la que se ha reportado un espesor conjunto de 449 hasta 535 m. La unidad inferior está constituida por una alternancia de yesos y calizas con textura fina y fragmentos de conchas, su espesor es de 162 m. La unidad intermedia se constituye por una intercalación de calizas fosilíferas de textura gruesa y horizontes de yesos, su espesor es de 43 m. El yeso constituye la unidad superior y está sobreyacida por un contacto de tipo transicional con la Formación Cupido.

Formación Cupido

La Formación Cupido es una unidad geológica común en el norte de México que, junto con la Formación Aurora, constituyen los núcleos de las principales sierras. Esta formación fue propuesta por Imlay en 1937 para describir afloramientos a lo largo del Cañón del Mimbre en la Sierra de Parras, Coahuila. Posteriormente Humphrey en 1949 redefinió a la Formación Cupido incluyendo el miembro de caliza inferior. Presenta un espesor variable. Hacia la Cuenca de Sabinas se le han llegado a medir 1,000 m. El espesor es de alrededor de 200 m.

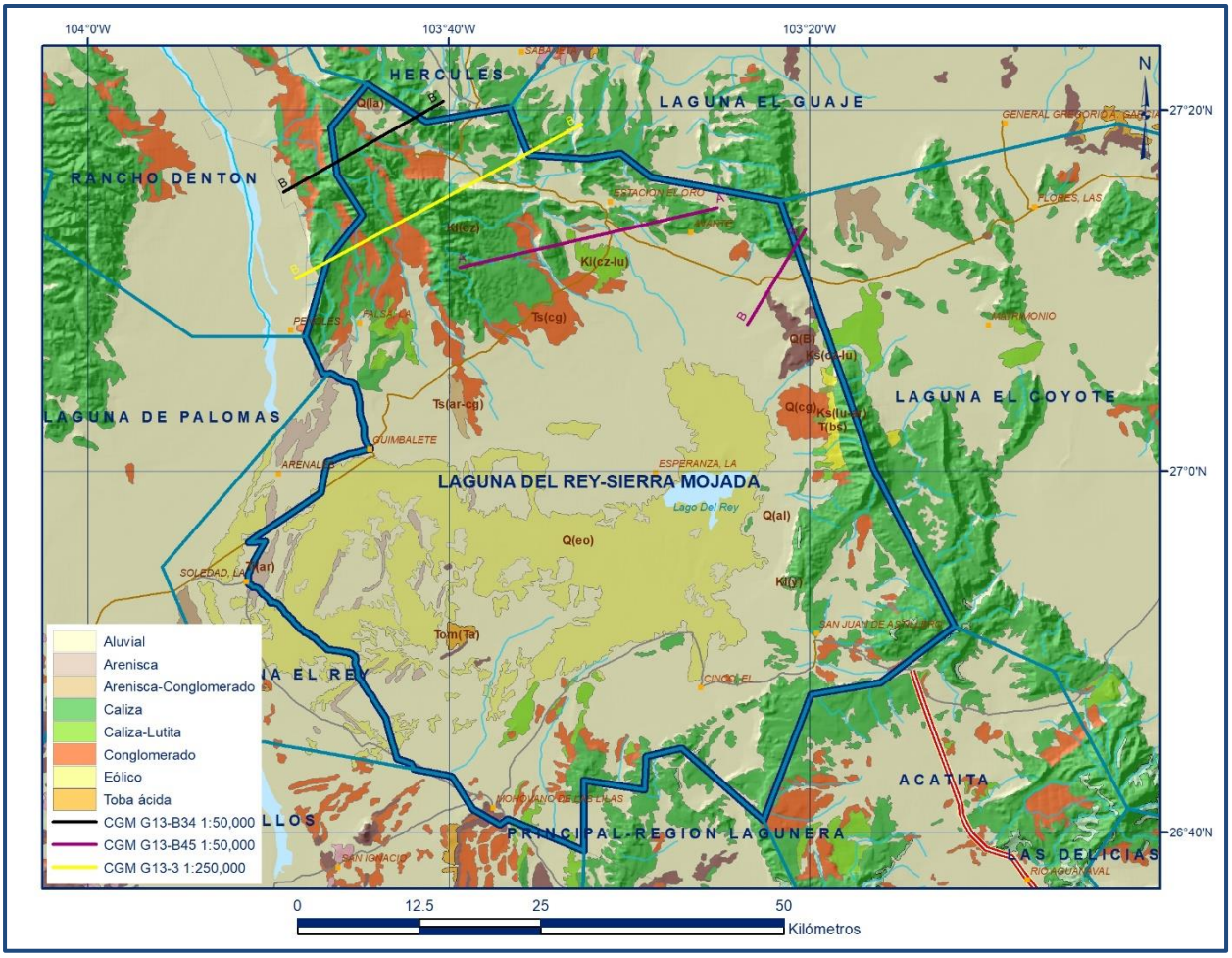


Figura 2. Geología general del acuífero

Formación La Peña

Imlay (1936) denominó Formación La Peña a la unidad cuya base está constituida básicamente por calizas, ubicadas entre la Formación Parritas y la Formación Aurora, a las que cubría y subyacía respectivamente. Su sección tipo correspondía al flanco norte de la Sierra de Taraises, Coah. Posteriormente, Humphrey (1950, p. 103) redefinió la Formación La Peña, eliminando el miembro calcáreo inferior. La Formación La Peña tiene una amplia distribución en todo el noreste de México. De acuerdo a la literatura, afloramientos de esta unidad se han medido en las sierras del Corazón (208 m), de las Iglesias (149 m), de Puerto Blanco (122 m), de la Candelaria (11 m), de La Mula (62 m), del Carmen (158 m), La Encantada (50 m), Rincón de María (80 m), San Ambrosio (74 m) y Santa Fe del Pino (50 m), entre otras. Consiste básicamente de lutita físil negra, que alterna con calizas de estratificación delgada y media de color gris oscuro a negro. En algunas localidades presenta delgados horizontes limolíticos o arenosos, así como

concreciones calcáreas de 10 a 30 cm, las cuales frecuentemente tienen amonitas en su núcleo. La edad de la Formación La Peña corresponde al Aptiano Tardío, como lo demuestra la presencia de abundantes amonitas de los géneros Dufrenoyia sp. y Parahoplites sp. El medio sedimentario en el cual se llevó a cabo la depositación de esta formación, correspondió a un mar abierto en una zona relativamente profunda, cuando menos debajo de la zona de agitación producida por el oleaje o corrientes superficiales. La coloración negra de las lutitas con abundante materia orgánica y en ocasiones la presencia de pirita, indica que la sedimentación se efectuó en condiciones reductoras y sin la influencia de procesos mecánicos. Su contacto inferior con la Formación Tamaulipas Inferior o con la Formación Cupido es nítido y concordante; del mismo modo subyace a la Formación Tamaulipas Superior (Aurora), en donde la zona de contacto está definida por el cambio de una sedimentación calcáreo-arcillosa a una secuencia netamente carbonatada.

Formación Aurora

En algunos trabajos, esta Formación se describe como Tamaulipas Superior y es también equivalente a la Formación Acatita. La distribución de esta unidad es amplia, ya que generalmente se encuentra formando las principales masas montañosas de la región, por ejemplo, las Sierra del Pino y El Fuste (541 m). Consiste básicamente de calizas con textura mudstone a wackstone de color gris, dispuestas en estratos gruesos y medios, aunque también presenta estratos delgados y masivos. Contiene, aunque no de forma abundante, pedernal, cristales de pirita y nódulos ferruginosos. Su fauna hacia la parte sur consiste principalmente de microorganismos plantónicos como globigerinaceas y tintínidos; esporádicamente presenta equinodermos, pelecípodos y bioclastos. Hacia la parte norte, esta unidad cambia de facies con las Formaciones Del Carmen y Glen Rose. Su posición estratigráfica sobre la Formación La Peña del Aptiano Tardío y bajo la Formación Kiamichi del Albiano Tardío, la sitúa en el Albiano Medio, que se confirma con la presencia de algunos microfósiles como Colomiella recta y Colomiella mexicana. Por su composición litológica y contenido faunístico, se considera que esta Formación se depositó en un ambiente de aguas marinas profundas y baja energía.

Formación Tamaulipas Superior

El nombre Formación Aurora fue propuesto por Burrows (1910) para aquellas rocas que afloran en la porción noreste del estado de Chihuahua, que están constituidas por capas gruesas de calizas fosilíferas, con abundantes nódulos de pedernal así como

líneas y superficies estilolíticas. La unidad presenta horizontes interestratificados de calizas y lutitas, de estratificación media a gruesa (0.70 a 1.20 m) con diversos desarrollos arrecifales y algunos horizontes de calcarenitas. Presenta una coloración de tonalidad gris a obscura, hacia su cima disminuye notablemente la presencia de nódulos de pedernal y aparece hematita. Presenta fracturamiento general que varía de moderado a intenso, estructuralmente forma pliegues anticlinales cuyos ejes se orientan al noroeste-sureste y echados suaves más o menos uniformes.

Formación Kiamichi

Esta unidad tiene una amplia distribución en todo el Noreste de México, aunque se le ha cartografiado con otros nombres tales como, Benevides, Sue Peaks o Sombreretillo. Se ha observado en las sierras de El Fuste y Santa Fe del Pino. Aflora principalmente al noreste del acuífero. La litología predominante de este complejo en el área consiste en una intercalación de lutitas calcáreas de color gris obscuro, calizas mudstone y wackestone, dispuestas en estratos delgados y medios, con abundante fauna fosilífera (amonitas, equinodermos, pelecípodos y gasterópodos) y concreciones de marcasita y fierro. Los sedimentos de esta formación pertenecen a un ambiente de depósito marino de aguas profundas. Por estudios micropaleontológicos y posición estratigráfica, se le asigna edad Albiano Medio – Superior.

Formación Del Río

Esta unidad inicialmente fue llamada “Grayson” por Cragin en 1884. Posteriormente Hill y Vaughan (en Adkins, 1932) utilizaron el término Formación Del Río que en la actualidad está más generalizado, designando como localidad tipo a la ciudad del mismo nombre que se encuentra en el Condado de Valverde, Texas. Consiste principalmente de lutitas gris oscuro a negro que intemperizan a colores rojizos, verdosos, violáceos y café amarillento. Presenta algunas intercalaciones delgadas de arenisca calcárea de grano fino, con estratificación cruzada. Hacia su base y cima, presenta intercalaciones de calizas y calcarenitas de color gris. Contiene foraminíferos de la Familia Globigerinacea, tintínidos, huellas de amonitas, equinodermos, pelecípodos y concreciones de marcasita. La edad de esta unidad corresponde al Cenomaniano Temprano. La Formación del Río es una unidad importante del Noreste de México y sur de Texas, debido a su amplia distribución, estabilidad litológica y posición estratigráfica. Su presencia marca el límite Albiano Cenomaniano. Se considera que esta unidad se depositó en una plataforma abierta y durante una etapa regional transgresiva. Debido a su carácter arcilloso, la Formación Del Río

generalmente está cubierta con aluvión. Presenta espesor que va de 4 a 211 m. Un aspecto notable de esta unidad es su marcado engrosamiento de espesor en la porción sur del acuífero, principalmente hacia la Sierra del Pino. A 45 km al oeste del Ejido Piedritas, al norte de la zona, consiste en 10 m de lutitas y calizas arcillosas de lajeadas a laminares, de color gris verdoso a verde amarillento, con esporádicas interestratificaciones de areniscas oxidadas y concreciones ferruginosas.

CRETÁCICO – MEDIO SUPERIOR

Formación Indidura

Fue estudiada por primera vez por Emil Bosé en 1906 en la Sierra de Parras y posteriormente definida por Kelly en 1936 en su localidad tipo de Delicias Coahuila, específicamente en el afloramiento localizado en el flanco oriental del Cerro La Indidura, localizado aproximadamente a 8 km al norte de Tanque Toribio, en donde consiste de 30 m de lutitas y calizas resquebrajadas y calizas lajeadas. Aflora ampliamente en las estructuras anticlinales y se identifica fácilmente en campo debido a la erosión diferencial con respecto a las formaciones más resistentes que la encajonan, formando puertos y valles sobre los sinclinales. Consiste, en términos generales, de una secuencia de wackestone areno arcilloso, que varía gradual y transicionalmente a intercalaciones de lutitas calcáreas; estratificada en capas delgadas y medianas con espesores de 5 a 20 cm y 30 a 60 cm, respectivamente; de coloración gris obscuro a negro en muestra fresca, cambiando comúnmente a pardo amarillento y ocasionalmente en tonalidades rosáceas y rojizas, con presencia de estructura laminar, fracturas y vetillas rellenas por calcita, así como diseminaciones de óxidos. En ocasiones presenta impresiones y moldes de bivalvos (Inoceramus labiatus). Su espesor varía de 350 a 800 m. Sobreyace por medio de un contacto concordante y abrupto a la Formación Cuesta del Cura, solo identificado por el incremento de sedimentos pelíticos y la ausencia de pedernal. El cambio de color al intemperismo y la disminución en el espesor de los estratos, son características que definen también el límite entre esas unidades. Su edad corresponde al Cenomaniano Inferior-Santoniano. Aflora en la Sierra Las Noas, donde presenta un conglomerado basal, que indica una emersión de la plataforma de Coahuila; en las sierras de Solís y de Texas, localizadas al noreste de Torreón. Su espesor promedio es de 300 m.

CUATERNARIO

Rocas ígneas extrusivas

Están representadas por algunos afloramientos de basaltos de edad cuaternaria, se

encuentran en el extremo noreste del acuífero.

Aluvión

Los depósitos cuaternarios se encuentran distribuidos extensamente en gran del acuífero. Consisten en aluviones depositados en piedemonte y en planicies de inundación. Los primeros son principalmente conglomerados y arenas y en las planicies de inundación están representados por limos, arcillas y evaporitas. Se encuentran ocupando las partes bajas, los flancos de las sierras y los valles. Solamente hacia los cauces de los arroyos que descienden de las sierras, se acumulan espesores relativamente mayores de aluvión, principalmente de tipo fluvial. Depósitos de acarreo en cauces de ríos y arroyos, suelos residuales, limos y arcillas, depositados en las zonas topográficamente bajas y planas. Los depósitos de talud, están constituidos por depósitos residuales y gravas mal consolidadas, acumulados en las estribaciones de las sierras. Estos depósitos son el resultado del intemperismo fisicoquímico y mecánico de las rocas preexistentes y cubren discordantemente a todas las rocas anteriores.

3.2 Geología estructural

Se identificó una importante cabalgadura, así como anticlinales y sinclinales simétricos con orientación general NE-SE, característicos de un régimen de deformación dúctil-frágil. Se trata de la cabalgadura San Marcos cuya traza se detectó en la porción norte y nor-este del acuífero porque pone en contacto a la Formación Aurora por encima de la Indidura y marca el límite paleotectónico entre la Plataforma de Coahuila al sur, con la Cuenca de Sabinas al norte. Los pliegues Sierra Mojada, La Posta, El Oro, Avante, La Tortuga y Las Piedras son resultado de la etapa dinámica compresiva que se asocia a la Orogenia Laramide. Los procesos de distensión post-orogénicos generaron estructuras de régimen frágil como los sistemas de fallas normales orientadas NW-SE. La evolución tectónica a partir del jurásico superiorinicia con una continua transgresión marina que persistió hasta finales del Cretácico. Los ambientes de depósito estuvieron controlados por dos importantes paleoelementos: La Plataforma de Coahuila y la Cuenca de Sabinas. Debido que existía u arreglo en bloques delimitados por fallas, cuando comienza la subsidencia, quedan cubiertas por el mar, depositándose en la vecindad, arenisca y conglomerado de la Formación San Marcos. Durante el Hauteriviano-Barremiano se desarrolló una barrera de arrecifes que conformó la actual Formación Cupido y cuyo depósito continuó hasta mediados del Aptiano. En el Aptiano Superior se registró un aumento en el nivel del mar,

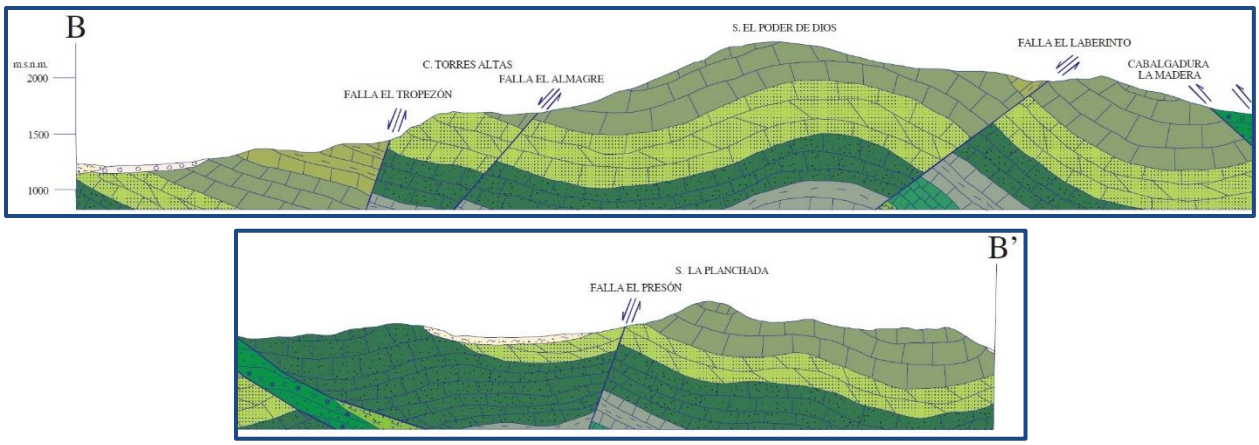
evidenciado por la transgresión que cubrió la Plataforma de Coahuila y favoreció el depósito de la secuencia arcillo-calcárea de la Formación La Peña. En el Albiano la subsidencia persiste, y por tanto, existen condiciones favorables para que se depositaran hacia la parte occidental de la cuenca, capas gruesas de carbonatos de plataforma correspondientes a la Formación Aurora. Sobre el bloque de Coahuila, la Formación Acatita conformó una laguna en la que se depositó caliza masiva de bioclastos con horizontes de dolomía en el Albiano Superior.

Una segunda fase de distensión asociada a los esfuerzos que dieron origen al protogolfo de California, se inició hacia el Mioceno y continua hasta el Plioceno, caracterizada por el acomodo de bloques desplazados por fallas normales de carácter regional, que formaron un relieve de extensas cuencas tectónicas acompañadas por magmatismo alcalino, manifestado por emisiones de basalto que se emplazó y extrusionó a lo largo de fisuras.

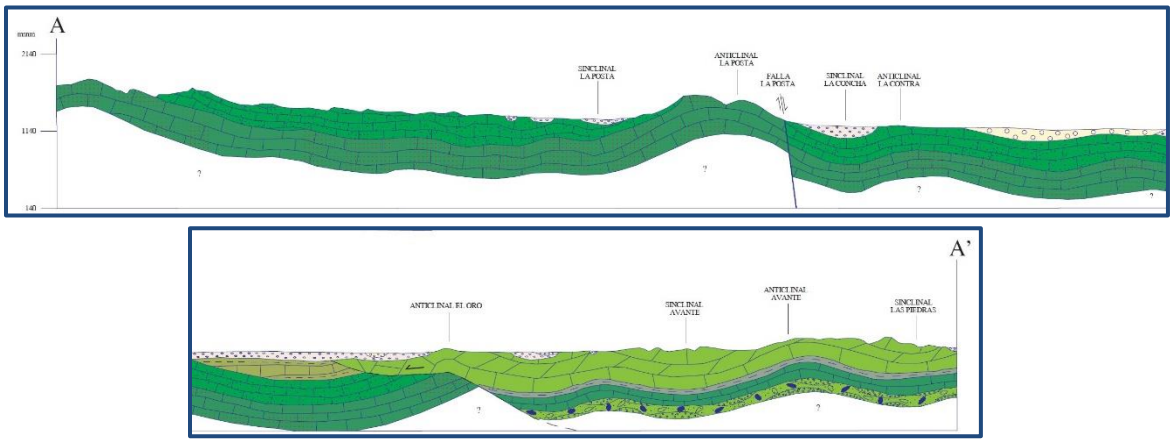
3.3 Geología del subsuelo

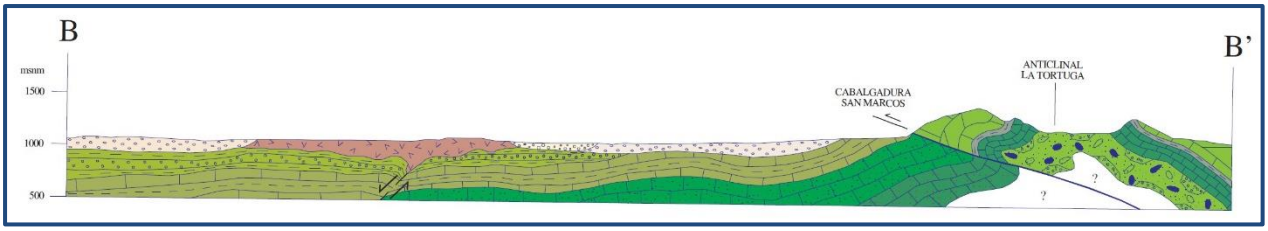
De acuerdo con la información geológica e hidrogeológica recabada en el acuífero y por correlación con acuíferos vecinos, es posible definir que el acuífero se encuentra alojado, en su porción superior, en los sedimentos aluviales de granulometría variable y conglomerados, de permeabilidad media a baja, que constituyen las extensas planicies y los piedemontes. La porción inferior está conformada por rocas ígneas extrusivas como basaltos, tobas y andesitas que presentan permeabilidad secundaria por fracturamiento. Las fronteras al flujo subterráneo y el basamento geohidrológico del acuífero están representados por las mismas rocas ígneas, al desaparecer el fracturamiento. A mayor profundidad las calizas de las formaciones Buda y Del Río, constituyen horizontes acuíferos profundos que no han sido explorados en la zona, que pueden presentar condiciones de semiconfinamiento o confinamiento, debido a que su litología incluye alternancia con lutitas y limolitas (figura 3).

Las secciones presentadas a continuación con dirección SW- NE, representa el norte del acuífero y en la misma se observa que los espesores aluviales disminuyen y empiezan a predominar las calizas con cientos de metros de espesor y la presencia de fallas normales, en donde destaca la “Falla de la Madera”.

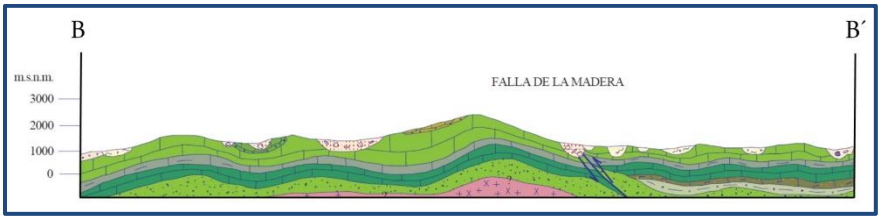


Fuente: Carta Geológico-Minera G13-B34 "Sierra Mojada". Esc. 1:50,000 (SGM,2004)





Fuente: Carta Geológico-Minera G13-B45 "Laguna de Rey". Esc. 1:50,000 (SGM,2014)



Fuente: Carta Geológico-Minera G13-3 "Ocampo". Esc. 1:250,000 (SGM,2008)

Figura 3. Secciones geológicas esquemáticas

4 HIDROGEOLOGÍA

4.1 Tipo de acuífero

Las evidencias geológicas e hidrogeológicas permiten definir la presencia de un acuífero **tipo libre**, heterogéneo y anisótropo tanto en sentido vertical como horizontal, constituido en su porción superior, por sedimentos aluviales de granulometría variada y conglomerados, producto de la erosión de las rocas que constituyen las sierras que delimitan las planicies, cuyo espesor puede alcanzar varios cientos de metros en el centro de los valles.

La porción inferior se aloja en una secuencia de rocas volcánicas entre las que destacan basaltos, tobas y andesitas, que presentan permeabilidad secundaria por fracturamiento. Las secuencias calcáreas que se encuentran a mayor profundidad representan una fuente potencial de agua subterránea que aún no ha sido explorada completamente, pueden presentar condiciones de semiconfinamiento debido a que se encuentran intercaladas con lutitas.

5 BALANCE DE AGUAS SUBTERRÁNEAS

No existe información piezométrica actual ni histórica en la superficie que cubre el acuífero. La escasa información disponible, procedente de recorridos de campo, es puntual e inconsistente de tal manera que no es posible extrapolarla para elaborar configuraciones del nivel estático que permitan el planteamiento de un balance de aguas subterráneas.

Por todas estas razones, se optó por plantear un balance hidrometeorológico en la superficie de **3,101.7 km²** del acuífero, para estimar de manera conservadora el volumen de agua susceptible de infiltrarse para recargar al acuífero.

La diferencia entre la suma total de las entradas (recarga), y la suma total de las salidas (descarga), representa el volumen de agua perdido o ganado por el almacenamiento del acuífero, en el periodo de tiempo establecido. La ecuación general de balance, de acuerdo con la ley de la conservación de la masa es la siguiente:

Entradas (E) - Salidas (S) = Cambio de masa

Aplicando esta ecuación al estudio del acuífero, las entradas quedan representadas por la recarga total, las salidas por la descarga total y el cambio de masa por el cambio

de almacenamiento del acuífero:

Recarga total - Descarga total = Cambio de almacenamiento

5.1 Entradas

Las entradas al acuífero Laguna del Rey- Sierra Mojada están integradas básicamente por la recarga natural que se produce por la infiltración de la lluvia (Rv).

5.1.1 Recarga vertical (Rv)

La recarga vertical total que recibe el acuífero (volumen susceptible de infiltrarse) se obtuvo mediante el planteamiento de un balance hidrometeorológico para toda la superficie del acuífero, mediante la siguiente expresión:

$$V_{LL} = V_{ETR} + V_{ESC} + V_{INF} \quad (1)$$

Donde:

V_{LL} = Volumen de lluvia;
V_{ETR} = Volumen evapotranspirado;
V_{ESC} = Volumen escurrido;
V_{INF} = Volumen infiltrado;

Por lo tanto, despejando el volumen infiltrado, se obtiene lo siguiente:

$$V_{INF} = V_{LL} - V_{ETR} - V_{ESC} \quad (2)$$

El volumen de lluvia que se precipita en la superficie cubierta por el acuífero se obtiene al multiplicar su área (3,101.7 km^2) por la lámina de precipitación media anual (312.0 mm):

$$V_{LL} = 3{,}101.7 \text{ km}^2 \ (0.312\text{m}) = 967.7 \text{ hm}^3 \text{ anuales}$$

Para la estimación de la evapotranspiración real se utilizó la ecuación empírica de Coutagne, considerando los valores promedio anual de precipitación de 312.0 mm y temperatura de 19.6 °C. Coutagne propuso la ecuación siguiente para el cálculo de la evapotranspiración real:

COUTAGNE $ETR = P - \chi P^2$

Donde:
ETR= Evapotranspiración m/año
P = precipitación en m/año
$\chi = 1/(0.8 + 0.14\ t)$
t = temperatura en ºC

La fórmula solo es aplicable para valores de la precipitación media anual (P) comprendidos entre 1/8X y 1/2X, estando ETR y P en metros, y T en °C. Si P es menor que 1/8X la ETR es igual a la precipitación, es decir, no existe escurrimiento; si la precipitación es mayor que 1/2X la ETR es prácticamente independiente de P y su valor está dado por: ETR = 0.20 + 0.035 T. Aplicando la fórmula de Coutagne se obtiene una lámina de evapotranspiración real de 285 mm anuales. Por lo tanto el volumen de ETR es:

V_{ETR} = 3,101.7 km² (0.285 m) = 884.0 hm³ anuales

Para determinar el volumen de escurrimiento debido a la lluvia se utilizó el método establecido en la Norma Oficial Mexicana NOM-011-CONAGUA-2015, publicada en el Diario Oficial de la Federación, con fecha del 27 de marzo de 2015, en la que se señala que para los casos en los que no se cuente con suficiente información para determinar el volumen anual de escurrimiento natural, se puede aplicar el método indirecto denominado precipitación-escurrimiento. El volumen anual medio de escurrimiento natural es igual a la precipitación media anual por el área y por un coeficiente de escurrimiento.

Para determinar el valor de escurrimiento, la normatividad establece la siguiente relación:

VOLUMEN ANUAL DE ESCURRIMIENTO NATURAL DE LA CUENCA	**=**	**PRECIPITACION ANUAL DE LA CUENCA**	*****	**AREA DE LA CUENCA**	*****	**COEFICIENTE DE ESCURRIMIENTO**

El coeficiente de escurrimiento (Ce) se puede determinar, según la norma antes citada, en función del parámetro K que depende del tipo y uso de suelo, de acuerdo con el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (USCS).

Con apoyo de cartografía del Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática, se clasifican los suelos de la cuenca en estudio, de acuerdo con los tres diferentes tipos: A (suelos permeables); B (suelos medianamente permeables); y C (suelos casi impermeables), que se especifican en la tabla 2 y se determina el uso actual del suelo.

En el caso de que, en la cuenca en estudio, existan diferentes tipos y usos de suelo, el valor de K se calcula como la resultante de subdividir la cuenca en zonas homogéneas para obtener el promedio ponderado.

Dependiendo del valor obtenido para K, el coeficiente de escurrimiento (Ce), se calcula mediante las fórmulas siguientes, en la que P es la precipitación media anual expresada en mm:

Si *K* resulta menor o igual que 0.15	Ce = *K* (P-250) / 2000
Si *K* es mayor que 0.15	Ce = *K* (P-250) / 2000 + (*K* –0.15) / 1.5

Donde:

P = Precipitación anual;

Ce= Coeficiente de escurrimiento anual;

K **=** Parámetro que depende del tipo, uso y cubierta del suelo;

Tabla 2. Valores de k en función del tipo y uso del suelo

USO DE SUELO	TIPO DE SUELO A	TIPO DE SUELO B	TIPO DE SUELO C
Barbecho, áreas incultas y desnudas	0.26	0.28	0.3
Cultivos:			
En hilera:	0.24	0.27	0.3
Legumbres o rotación de pradera	0.24	0.27	0.3
Granos pequeños	0.24	0.27	0.3
Pastizal:			
% del suelo cubierto o pastoreo			
Más del 75% -poco-	0.14	0.2	0.28
Del 50 al 75% -regular-	0.2	0.24	0.3
Menos del 50% -excesivo-	0.24	0.28	0.3
Bosque:			
Cubierto más del 75%	0.07	0.16	0.24
Cubierto del 50 al 75%	0.12	0.22	0.26
Cubierto del 25 al 50%	0.17	0.26	0.28
Cubierto menos del 25%	0.22	0.28	0.3
Zonas urbanas	0.26	0.29	0.32
Caminos	0.27	0.3	0.33
Pradera permanente	0.18	0.24	0.3

TIPO DE SUELO	CARACTERISTICAS
A	Suelos permeables, tales como arenas profundas y loes poco compactos
B	Suelos medianamente permeables, tales como arenas de mediana profundidad; loes algo más compactos que los correspondientes a los suelos Tipo A; terrenos migajosos
C	Suelos casi impermeables, tales como arenas o loes muy delgados sobre una capa impermeable, o bien arcillas

De acuerdo con la cartografía de CONABIO escala 1:1,000,000 para el tipo de suelo, predominan los tipos: Litosol, Regosol, Solonchak, Xerosol y Yermosol (figura 4).

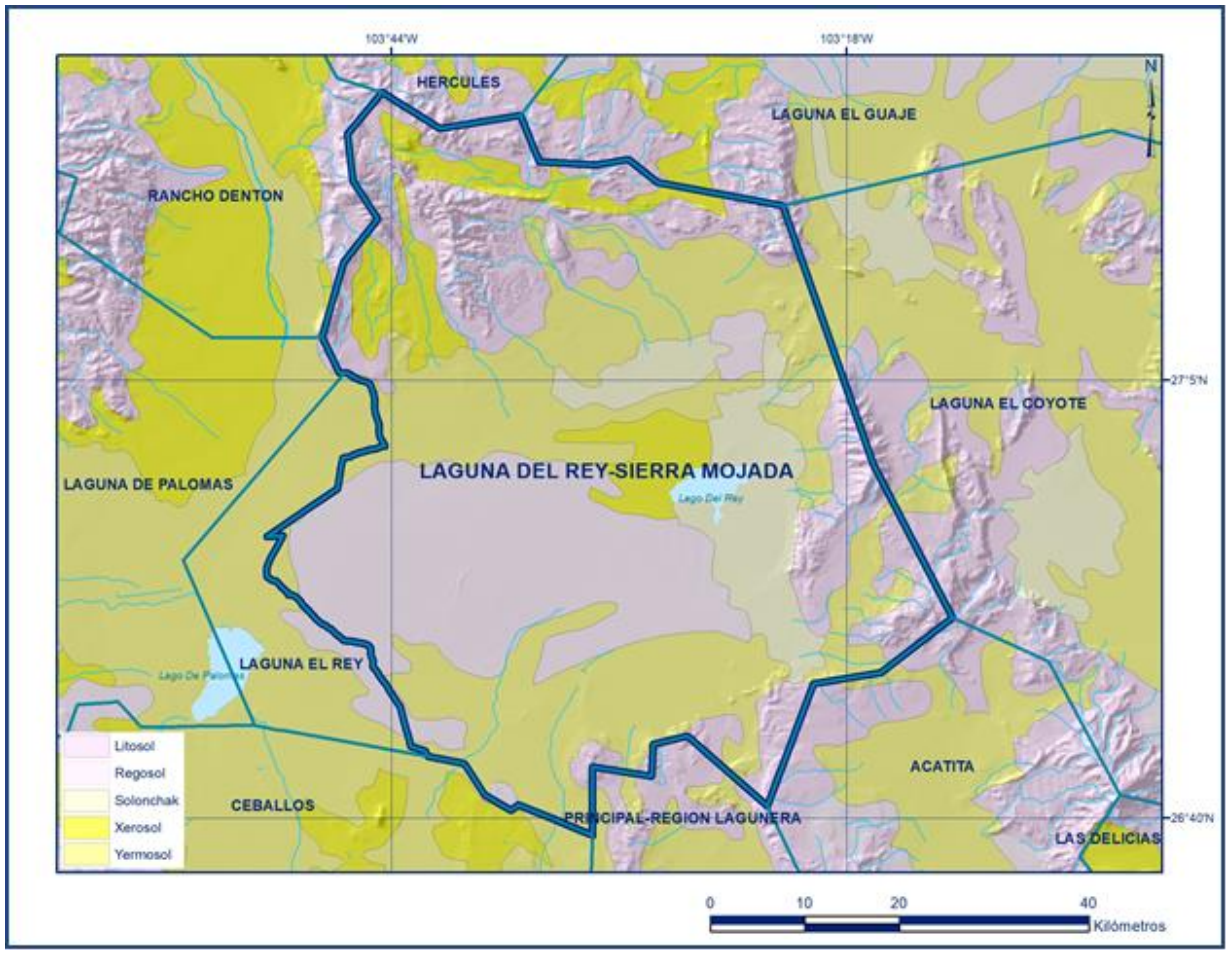


Figura 4. Tipo de suelo

En cuanto al uso de suelo (figura 5), de acuerdo con la cartografía de INEGI escala 1:1,000,000 en el área donde se localiza el acuífero hay al menos ocho usos de suelo diferentes: agricultura, asentamientos humanos, bosque, cuerpos de agua, matorral, otros tipos, pastizal, y sin vegetación aparente.

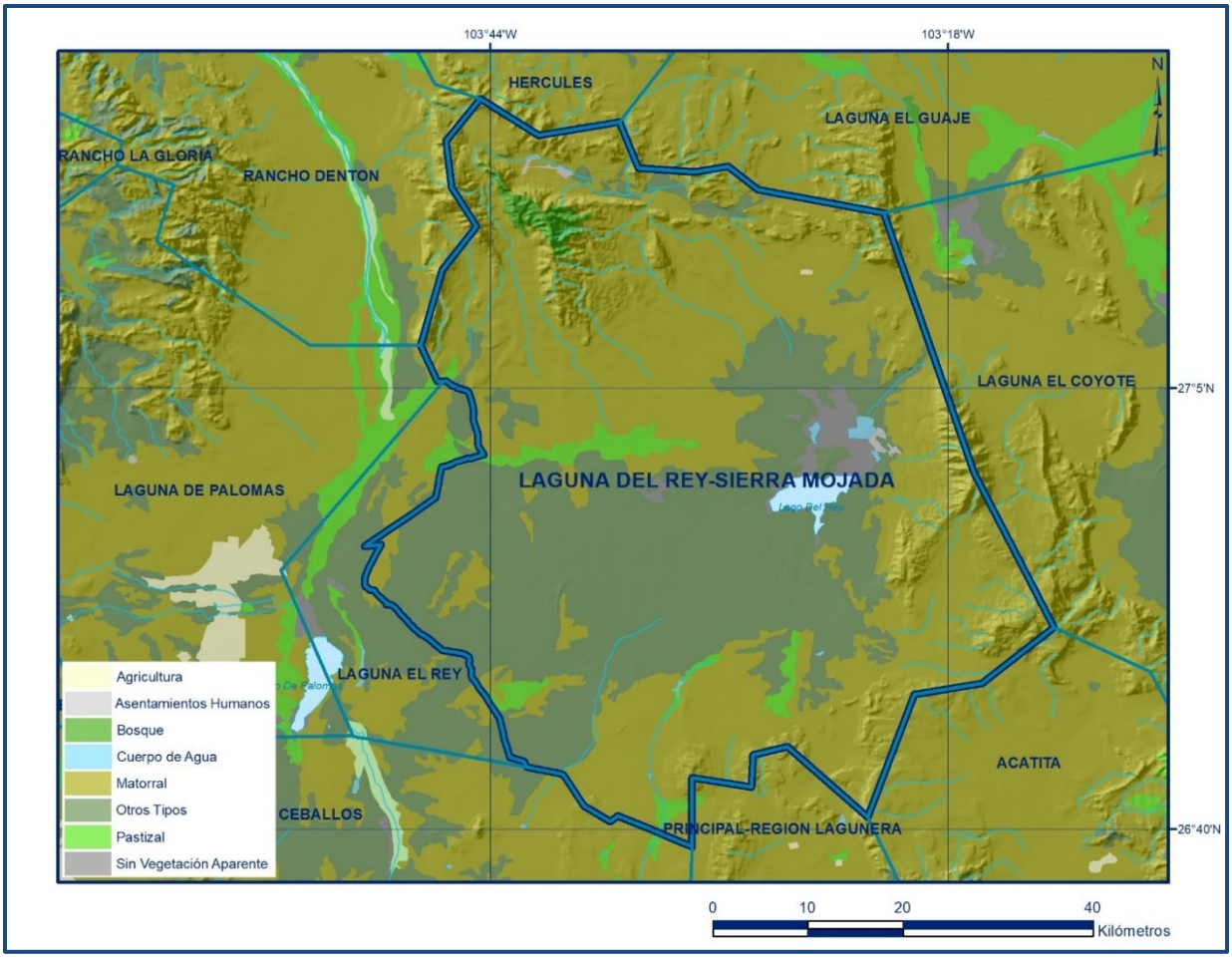


Figura 5. Uso de suelo

De esta manera, el valor de K se obtuvo como promedio ponderado y es igual a 0.26, valor que se aplicó en la siguiente ecuación para obtener el coeficiente de escurrimiento (Ce):

$$Ce = K\,(P-250)\,/2000) + (K-0.15)/1.5$$

$$\mathbf{Ce = 0.071}$$

Aplicando este coeficiente de escurrimiento al volumen de lluvia, se obtiene el volumen del escurrimiento:

$$\mathbf{V_{ESC} = 0.071\ (967.7\ hm^3) = 68.7\ hm^3\ anuales}$$

Sustituyendo valores en la ecuación (2), se obtiene lo siguiente:

$$\mathbf{V_{INF} = V_{LL} - V_{ETR} - V_{ESC}\ (2)}$$
$$\mathbf{V_{INF} = 967.7 - 884.0 - 68.7}$$
$$\mathbf{V_{INF} = 15.0\ hm^3\ anuales}$$

Al dividir el volumen promedio anual infiltrado, entre el volumen anual promedio precipitado, que es 967.7 hm^3/año, se obtiene el coeficiente de infiltración de 0.0155.

De acuerdo con lo anterior, el volumen susceptible de infiltrarse es de 15.0 hm^3/año en la superficie del acuífero.

Por lo que la **Rv = 15.0 hm^3 anuales**

5.2 Salidas

Las salidas de agua subterránea estimadas en este balance son las siguientes:
La descarga del acuífero ocurre principalmente por bombeo (B), evapotranspiración y posiblemente a través de salidas subterráneas, pero no se cuenta información piezométrica para su estimación.

5.2.1 Bombeo (B)

De acuerdo con los datos reportados por el Registro Público de Derechos de Agua (REPDA), se tiene registrado un volumen de extracción de **16.0 hm^3 anuales**, a la fecha de corte del 30 de diciembre del 2022.

6 DISPONIBILIDAD

Para el cálculo de la disponibilidad de aguas subterráneas, se aplica el procedimiento de la Norma Oficial Mexicana NOM-011-CONAGUA-2015, Conservación del recurso agua-que establece las especificaciones y el método para determinar la disponibilidad media anual de las aguas nacionales; en su fracción relativa a las aguas subterráneas, menciona que la disponibilidad se determina por medio de la expresión siguiente:

DISPONIBILIDAD MEDIA ANUAL DE AGUA DEL SUBSUELO EN UN ACUÍFERO	=	RECARGA TOTAL MEDIA ANUAL	-	DESCARGA NATURAL COMPROMETIDA	-	EXTRACCIÓN DE AGUAS SUBTERRÁNEAS

Donde:

DMA= Disponibilidad media anual de agua del subsuelo en un acuífero
R = Recarga total media anual
DNC = Descarga natural comprometida
VEAS= Volumen de extracción de aguas subterráneas

6.1 Recarga total media anual (R)

La recarga total media anual que recibe el acuífero (R), corresponde con la suma de todos los volúmenes que ingresan al acuífero. Para este caso, su valor es de **15.0 hm³ anuales**, todos ellos son de recarga natural.

6.2 Descarga natural comprometida (DNC)

La descarga natural comprometida se determina sumando los volúmenes de agua concesionados de los manantiales y del caudal base de los ríos que está comprometido como agua superficial, alimentados por el acuífero, más las descargas que se deben conservar para no afectar a los acuíferos adyacentes; sostener el gasto ecológico y prevenir la migración de agua de mala calidad hacia el acuífero.

Para este caso, su valor es **DNC = 0.0 hm³ anuales**.

6.3 Volumen de extracción de aguas subterráneas (VEAS)

La extracción de aguas subterráneas se determina sumando los volúmenes anuales de agua asignados o concesionados por la Comisión mediante títulos inscritos en el Registro Público de Derechos de Agua (REPDA), los volúmenes de agua que se encuentren en proceso de registro y titulación y, en su caso, los volúmenes de agua correspondientes a reservas, reglamentos y programación hídrica, todos ellos referidos a una fecha de corte específica. En el caso de los acuíferos en zonas de libre alumbramiento, la extracción de aguas subterráneas será equivalente a la suma de los volúmenes de agua estimados con base en los estudios técnicos, que sean efectivamente extraídos, aunque no hayan sido titulados ni registrados, y en su caso, los volúmenes de agua concesionados de la parte vedada del mismo acuífero.

Para este acuífero el volumen de extracción de aguas subterráneas es de **16,032,204 m³ anuales,** que reporta el Registro Público de Derechos e Agua (REPDA) de la subdirección General de Administración del Agua, a la fecha de corte del **30 de diciembre del 2022.**

6.4 Disponibilidad media anual de agua subterránea (DMA)

La disponibilidad de aguas subterráneas constituye el volumen medio anual de agua subterránea disponible en un acuífero, al que tendrán derecho de explotar, usar o aprovechar los usuarios, adicional a la extracción ya concesionada y a la descarga natural comprometida, sin poner en peligro a los ecosistemas.

Conforme a la metodología indicada en la norma referida anteriormente, se obtiene de restar al volumen de recarga total media anual, el valor de la descarga natural comprometida y el volumen de extracción de aguas subterráneas.

DMA = R – DNC – VEAS

DMA = 15.0 – 0.0 – 16.032204

DMA = -1.032204 hm^3 anuales

El resultado indica que no existe un volumen disponible para otorgar nuevas concesiones; por el contrario, el déficit es de **1,032,204 m^3 anuales** que se están extrayendo a costa del almacenamiento del acuífero.

7 BIBLIOGRAFÍA

Sistema Nacional de Información del Agua (CONAGUA), 2020, Regiones Hidrológicas, Cuencas, Ríos Principales; 2018-2019, Distritos de Riego; 2010, Regiones Hidrológico-Administrativas, Distritos de Riego.